Pointeri

1 noiembrie 2004

Variabile și adrese

În limbajul C:
– o variabilă are: nume, valoare, adresa unde e memorată valoarea
– oricare două variabile ocupă spațiu de memorie distinct
– memoria pentru variabile e alocată implicit:
  – pe toată durata programului, pentru variabilele globale și statice
  – la fiecare activare a unui bloc, pentru variabilele locale blocului

Cu elementele de limbaj studiate până acum:
– o variabilă poate fi referită *doar* prin numele ei (nu există *alias*-uri)
– nu ne putem referi la adresa unei variabile
– valoarea unei variabile e modificată doar prin *atribuire explicită*
  nu și ca parametru al unei funcții (transmiterea se face prin valoare)
  Obs: la *citire* (ex. `scanf`) se transmite *adresa* ! (vom discuta)
– nu putem aloca explicit, la rulare, memorie pentru noi variabile

Declararea pointerilor. Adrese. Dereferenţiere

Pointer = o variabilă care conţine *adresa* altei variabile

Declararea pointerilor

tip `*`*nume_var*`;` `/* `*nume_var* `e pointer la o valoare de` *tip* `*/`

Operatorul adresă `&` operator prefix

– operand: o variabilă (ex. `x`); rezultat: adresa variabilei `&x`

– se poate folosi numai pt. *variabile*, nu pt. constante, expresii, etc.

– se poate atribui unei variabile pointer la tipul respectiv:

```
int x; int *p;   p = &x;
```

Operatorul de dereferenţiere (indirectare) `*` operator prefix

– operand: pointer; rezultat: referinţă la obiectul indicat de pointer

– dacă `p = &x`, atunci `*p` e efectiv sinonim cu `x`

– referinţa `*p` poate fi folosită la stânga sau la dreapta unei atribuiri:

```
int x, y, z, *p;   p = &x;     /* *p înseamnă x */
z = *p; /* ca şi z = x */     *p = y; /* ca şi x = y */
```

Declarații și referințe: observații

În C, putem declara/folosi oricâte nivele de indirectare: `char **s;`

O declarație *nume_tip declarator* ; se interpretează:
un obiect de aceeași formă ca și declaratorul are tipul *nume_tip*

```
int *p; /* *p este int, deci p e pointer la int */
char **s; /* **s este char; s e adresa unei adrese de char */
int m[5][3]; /* m[i][j] e int; m e tablou de 5 tablouri de 3 int */
char *t[10]; /* *t[i] e char; t e tablou de 10 adrese de char */
```

Noțiune: obiect care poate apărea în stânga atribuirii (*lvalue*, referință)
= variabilă simplă, element de tablou, sau referință prin indirectare `*p`;
– ceilalți operatori produc *expresii* care pot sta doar în dreapta atribuirii:
`a+b`, `&x`, `i++`, `(a > b) ? a : b`

`*` și `&` au *precedența* mai ridicată decât operatorii aritmetici:

```
y = *px + 1; /* cu 1 mai mult decât valoarea indicată de px */
```

dar `*px++` dă valoarea indicată de `px`, și incrementează pointerul `px`
(nu valoarea), pentru că `++` și `*` se evaluează de la dreapta la stânga !

Eroarea cea mai frecventă: absența inițializării

Utilizarea *oricărei* variabile neinițializate e o eroare logică în program !
`{ int sum; for (i=0; i++ < 10; ) sum += a[i]; /* dar iniţial? */ }`
⇒ în cel mai bun caz, o comportare aleatoare

Pointerii, ca orice variabile trebuie inițializați !
– cu adresa unei variabile (sau cu alt pointer inițializat deja)
– cu o adresă de memorie alocată dinamic (vom discuta ulterior)

EROARE: *tip* `*p; *p =` *valoare*`;`
– p este neinițializat (eventual nul, dacă e variabilă globală)
⇒ valoarea va fi scrisă la o adresă de memorie necunoscută (evtl. nulă)
⇒ coruperea memoriei, rezultare eronate sau imprevizibile, terminarea forțată a programului (sub sisteme de operare cu memorie protejată)

ATENȚIE!: un pointer nu este un întreg. Nu se recomandă conversia între pointer și `int` (presupune că `sizeof(void *) == sizeof(int)`)

Pointeri ca argumente/rezultate de funcţii

Modificarea valorii unei variabile prin transmiterea adresei ei
– o variabilă poate modificată prin indirectarea unui pointer către ea
– nu constituie excepţie de la transmiterea parametrilor prin valoare (parametrul transmis e *adresa*, care nu se modifică)

```
void swap (int *pa, int *pb)
{
  int tmp;
  tmp = *pa; *pa = *pb; *pb = tmp;
}
```

Ex.: `int x = 3, y = 5; swap(&x, &y); /* acum x = 5 şi y = 3 */`

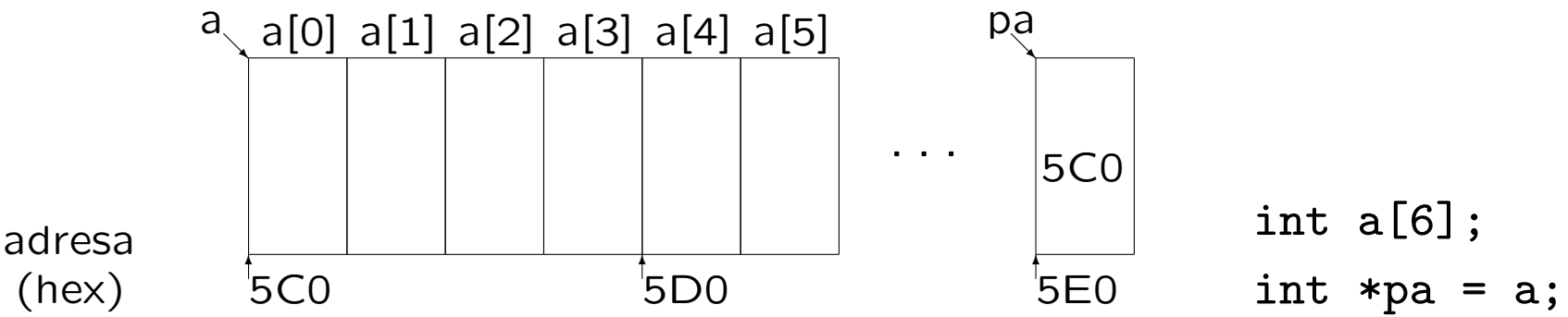
Când limbajul nu permite transmiterea prin valoare (tablouri) sau ea ar fi ineficientă (structuri)
– funcţiile se scriu utilizând *adresa* variabilelor de tipul respectiv

Tipărirea valorii unui pointer: cu specificatorul `%p` în `printf`

Tablouri și pointeri

În limbajul C noțiunile de *pointer* și *nume de tablou* sunt asemănătoare.
– declararea unui tablou alocă un bloc de memorie pt. elementele sale
– *numele* tabloului e adresa blocului respectiv (= a primului element)
declarând *tip* `a[LEN], *pa;` putem atribui `pa = a;`
`&a[0]` e echivalent cu `a` iar `a[0]` e echivalent cu `*a`

Diferența: adresa `a` e o *constantă* (tabloul e alocat la o adresă fixă)
⇒ nu putem atribui `a =` *adresă*, dar putem atribui `pa =` *adresă*
`pa` e o *variabilă* ⇒ ocupă spațiu de memorie și are o adresă `&pa`




```
int a[6];
int *pa = a;
```

Tablouri și pointeri (continuare)

În declarații de funcții, se pot folosi oricare din variante:
`size_t strlen(char s[]);` sau `size_t strlen(char *s);`
(de fapt, compilatorul convertește prima variantă în a doua)
⇒ nu se transmit tablouri (bloc de memorie) la funcții, ci adresele lor

Fie `char t[21];` Compilatorul consideră `&t` ca fiind `t`
⇒ s-ar putea scrie și `scanf("%20s", &t)` în loc de `scanf("%20s", t)`
se recomandă totuși prima variantă, pentru uniformitate cu cazul:
`char *p; p = t + 4; scanf("%16s", p) /* e incorect &p ! */`

Diferență între tablouri și pointeri:
`sizeof t == 21*(sizeof char)` diferit de `sizeof p == sizeof(char *)`

Atenție la tipuri!
Fie `char m[5][80]; char *p;` `p` și `m` nu au același tip, dar `p` și `m[2]` au !

Aritmetica cu pointeri

O variabilă `v` de un anumit `tip` ocupă `sizeof(tip)` octeți
$\Rightarrow$ `&v + 1` reprezintă adresa la care s-ar putea memora următoarea variabilă de același tip (adresa cu `sizeof(tip)` mai mare decât `&v`).

1. *Adunarea* unui întreg la un pointer: poate fi parcurs un tablou
`a + i` e echivalent cu `&a[i]` iar `*(a + i)` e echivalent cu `a[i]`

```
char *endptr(char *s) { /* returnează pointer la sfârşitul lui s */
  char *p = s;          /* sau: char *p; p = s; */
  while (*p) p++;       /* adică la poziţia marcată cu '\0' */
  return p;
}
```

2. *Diferența*: doar între doi pointeri *de același tip* `tip *p, *q;`
= numărul (trunchiat) de obiecte de `tip` care încap între cele 2 adrese
− diferența numerică în octeți: se convertesc ambii pointeri la `char *`

```
p - q == ((char *)p - (char *)q) / sizeof(tip)
```

Nu sunt definite nici un fel de alte operații aritmetice pentru pointeri !
Se pot însă efectua operații logice de comparație (`==`, `!=`, `<`, etc.)

Aplicații: funcții cu șiruri de caractere

– declarate în `string.h`; mai jos, exemple de implementări posibile

```
size_t strlen(const char *s) { /* lungimea şirului s */
  char *p = s;
  while (*p) p++;      /* până întâlneşte '\0' */
  return p - s;        /* '\0' nu e numărat */
}
char *strcpy(char *dest, char *src) { /* copiază src în dest */
  char *p = dest;
  while (*p++ = *src++);  /* copiază până întâlneşte '\0' */
  return dest;            /* returnează dest prin convenţie */
}
int strcmp (char *s1, char *s2) { /* compară caracter cu caract. */
  while (*s1 == *s2 && *s1) { s1++; s2++; } /* egale dar nu '\0' */
  return *s1 - *s2; /* < 0 pt. s1<s2, > 0 pt. s1>s2, 0 pt. egal */
}
```

Alte funcţii cu şiruri de caractere

```
char *strncpy(char *dest, char *src, size_t n) {
  char *p = dest; /* copiază cel mult n caractere */
  while (n-- && *p++ = *src++);
  return dest;
}
int strncmp (char *s1, char *s2, size_t n) { /*compară cel mult n*/
  if (n == 0) return 0;
  while (--n && *s1 == *s2 && *s1) { s1++; s2++; }
  return *s1 - *s2; /* < 0 pt. s1<s2, > 0 pt. s1>s2, 0 pt. egal */
}
char *strchr(char *s, int c) { /* prima poziţie a lui c în s */
  do if (*s == c) return s; while (*s++);
  return NULL;                    /* dacă nu a fost găsit */
}
```

`NULL` (0 cf. `stddef.h`) se foloseşte convenţional ca adresă invalidă

Pointeri și tablouri multidimensionale

Fie declarația `tip a[DIM1][DIM2];` Elementul `a[i][j]` este al `j`-lea element din tabloul de `DIM2` elemente `a[i]` și are adresa
`&a[i][j] == (tip *)(a + i) + j == (tip *)a + DIM2*i + j`

⇒ pentru compilarea expresiei `a[i][j]` e necesară cunoașterea lui `DIM2`
⇒ în declarația unei funcții cu parametri tablou trebuie precizate toate dimensiunile în afară de prima (irelevantă): `void f(int m[][5]);`

Pointeri și șiruri

Declarațiile `char s[] = "sir";` și `char *s = "sir";` sunt diferite!
– prima rezervă spațiu doar pt. șirul `"sir"`, iar adresa `s` e o constantă
– a doua rezervă spațiu și pentru pointerul `s`, care poate fi reatribuit

`char s[12][4]={"ian",...,"dec"};` și `char *s[12]={"ian",...,"dec"};`
primul e un tablou 2-D de caractere, al doilea e un tablou de pointeri

Argumentele liniei de comandă

Limbajul C permite accesul la parametrii argumentele) cu care programul e rulat din linia de comandă (ex. opțiuni, nume de fișiere) De asemenea, permite returnarea de program a unui cod întreg (folosit uzual pentru a semnala succes sau o condiție de eroare)

```
#include <stdio.h>
int main(int argc, char *argv[]) {
  int i;

  printf("Numele programului: %s\n", argv[0]);
  if (argc == 1) printf("Program apelat fără parametri\n");
  else for (i = 1; i < argc; i++)
    printf("Parametrul %d: %s\n", i, argv[i]);
  return 0;  /* codul returnat de program */
}
```

– `argv[0]` e numele programului, deci întotdeauna `argc >= 1`
– `argv[1]`, etc.: parametrii, așa cum au fost separați de spații

Pointeri la funcţii

Adresa unei funcţii se poate obţine, memora, şi utiliza pentru a o apela.
pentru o funcţie *tip_rez* `fct` (*tip1*, . . . , *tipn*);
adresa are tipul *tip_rez* `(*pfct)` (*tip1*, . . . , *tipn*);
se poate atribui `pfct = fct;` (numele funcţiei reprezintă adresa ei)

Atenţie la sintaxă:
`int *fct(void);` declară o funcţie ce returnează pointer la întreg
`int (*fct)(void);` declară un pointer la o funcţie ce returnează întreg

Exemplu de utilizare: parametrizarea unei alte funcţii
Algoritmul *quicksort*, declarat (în `stdio.h`) ca funcţie cu parametrii:
– adresa tabloului de sortat, numărul şi dimensiunea elementelor
– adresa funcţiei care compară 2 elemente (returnează $<$, $=$ sau > 0)
efectuarea comparării depinde de tip: întreg, şir, definit de utilizator

```
void qsort(void *base, size_t num, size_t size, int (*compar)(void *, void *));
```

– foloseşte argumente `void *` fiind compatibile cu pointeri la orice tip

Utilizarea pointerilor la funcţii (cont.)

– pentru tabele de rutine, apelate în funcţie de un indice
– exemplu: meniu cu apelare de funcţii în funcţie de tasta apăsată

```
void help(void); void menu(void); /*...*/ void quit(void);
void (*funtab)[10](void) = { help, menu, ...., quit };
int getkey(void); /* citeste tasta apăsată de utilizator */

void do_cmd(void)
{
  int k = getkey();
  if (k >= 0 && k <= 9) funtab[k]();
}
```

Sintaxa pointerilor de funcţii e complicată ⇒ e util să declarăm un tip:

```
typedef void (*funptr)(void); /* pointer la funcţie void */
funptr funtab[10]; /* tabloul de pointeri de funcţie */
```

Alocarea dinamică

Până acum am atribuit la pointeri doar adrese de variabile *existente* şi am declarat *static* doar variabile de dimensiuni cunoscute la compilare.
Discutăm: funcţii de gestiune *dinamică* a memoriei (`stdlib.h`): alocarea memoriei după necesităţi stabilite la *rularea* programului

```
void *malloc(size_t size); /* alocă size octeţi */
void *calloc(size_t num, size_t size); /* num*size oct. init. 0 */
/* m/calloc returnează NULL la eroare (ex. mem. insuficientă) */
void *realloc(void *ptr, size_t size); /* modifică dimensiunea,
        poate muta blocul, dar păstrează conţinutul memoriei */
void free(void *ptr); /* eliberează mem. alocată cu c/malloc */
```

```
int i, n, *t;
printf("Nr. de elemente ?"); scanf("%d", &n);
if ((t = malloc(n * sizeof(int)) != NULL)
  for (i = 0; i < n; i ++) scanf("%d", &t[i]);
```

Exemplu: citirea unei linii de dimensiune nelimitată

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
const int BLOCK = 16;
char *getline(void) {
  char *p, *s = NULL;
  int c, lim = -1, size = 0; /* 1 loc pentru \0 */
  while ((c = getchar()) != EOF) {
    if (size >= lim) /* alocă memorie, testează de eroare */
      if (p = s, (s = realloc(s, (lim+=BLOCK)+1)) == NULL)
        return free(p), NULL;
    if ((s[size++] = c) == '\n') break;
  }
  s[size] = '\0'; return s;
}
```

Exemple de alocare dinamică (cont.)

Să se citească un șir de numere, terminat cu zero și să se sorteze.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define NUM 100 /* alocăm pt. 100 de numere odată */
typedef int (*cmpptr)(const void *, const void *);
int cmp(int *p, int *q) { return *p - *q; } /* pt. sortare */
void main(void) {
  int i = 0, n = 0, *t = NULL; /* contor, total, tablou */
  do { /* alocă câte NUM întregi, iniţial şi când e nevoie */
    if (i == n) { n += NUM; /* realloc(NULL,sz) e ca malloc(sz) */
      if (!(t = realloc(t, n*(sizeof int)))) return 1; }
    if (scanf("%d", &t[i]) != 1) return 1; /* iese la eroare */
  } while (t[i++]); /* până când introducem zero */
  qsort(t, i, sizeof(int), (cmpptr)cmp); /* sortează */
  for (n = 0; n < i; n++) printf("%d ", t[n]);
  free(t);
}
```